

## **ANALISA INSTRUMENTASI GEOTEKNIK UNTUK EVALUASI KEAMANAN BENDUNGAN URUGAN TANAH DI LODAN KABUPATEN REMBANG**

Deni Setya Aprianto, Ricky Eko Maulana, Indrastono Dwi Atmanto<sup>\*)</sup>, Bambang Pardoyo<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

*Bendungan Lodan adalah bendungan yang dibuat untuk membendung Sungai Lodan, terletak di Desa Lodan, Kecamatan Sarang, Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat keamanan bendungan adalah dengan menggunakan peralatan instrumentasi geoteknik yang terdiri dari instrumentasi tekanan air, instrumentasi deformasi dan instrumentasi rembesan. Skripsi ini membahas tekanan air pori yang diukur dengan alat piezometer. Memantau bocoran dan rembesan menggunakan V-Notch Weir. Dan deformasi menggunakan settlement survey point. Dari pengamatan piezometer, terlihat bahwa alat yang merespon perubahan tinggi muka air hanya FP1, FP, FP3, PP6, PP10, PP13 dan PP14 sehingga perlu adanya penanganan lebih lanjut. Untuk penggambaran garis freatik masih aman karena garis freatik tidak memotong tubuh bendungan. Debit rembesan sangat kecil yaitu kurang dari 0,28 lt/mnt/m, sehingga masih dalam batas aman. Untuk pengamatan deformasi vertical juga masih aman karena nilai  $SI \leq 0,02$ . Secara umum tingkat keamanan Bendungan Lodan masih ada dalam batas normal. Hanya pada instrumen piezometer saja yang perlu penanganan lebih lanjut.*

**kata kunci:** Instrumen, piezometer, v-notch weir, settlement survey point

### **ABSTRACT**

*Lodan dam is a dam made to stem Lodan River, located in the village Lodan, District Sarang, Rembang, Central Java. One way to determine the level of safety of dams is to use geotechnical instrumentation equipment consisting of water pressure instrumentation, deformation instrumentation and seepage instrumentation. This thesis discusses the pore water pressure were measured by means of piezometers. Monitor leaks and seepage using V-Notch Weir. And deformation using settlement survey point. From piezometer observation, it appears that the device responds to changes in water level only FP1, FP, FP3, PP6, PP10, PP13 and PP14 so that need for further treatment. For phreatic line drawing is still safe because the phreatic line does not cut the dam body. Seepage discharge is very small at less than 0.28 l / min / m, so it is still within safe limits. For vertical deformation observation is still safe because the SI value  $\leq 0.02$ . In general, the security level Dam Lodan still within normal limits. Only the piezometers instruments that need further treatment.*

---

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

**keywords:** *Instruments, piezometer, v-notch weir, settlement survey point*

## **PENDAHULUAN**

Kebijakan pemerintah untuk memberikan kebebasan seluas-luasnya kepada daerah untuk mengatur dan membangun daerah masing-masing atau lebih dikenal dengan otonomi yang diperluas memberikan dampak yang positif bagi perkembangan dan pembangunan di daerah. Pembangunan saat ini tidak hanya dipusatkan di ibukota tetapi diharapkan juga sampai di daerah-daerah sehingga dampak dan manfaatnya dapat dinikmati oleh seluruh masyarakat Indonesia. Untuk menunjang kehidupan sosial dan ekonomi salah satunya dibutuhkan sarana dan prasarana yang memadai. Suatu sistem perairan yang lengkap sudah merupakan kebutuhan yang sangat vital bagi masyarakat. Oleh karena itu ketersediaan sistem perairan merupakan salah satu faktor utama meningkatkan perkembangan dan pertumbuhan suatu jaringan perairan. Bendungan adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Seringkali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

## **PERMASALAHAN**

Dengan adanya perkembangan dunia teknik sipil pembangunan bendungan di Indonesia pada saat ini sudah sangat berkembang, dengan segala ketersediaan sumber daya manusia yang mendukung dan teknologi yang ada. Banyaknya bendungan yang ada di Indonesia terutama di daerah Jawa Tengah pada khususnya kurang termonitoring dengan baik. Mungkin karena pemerintah yang hanya bisa membangun tanpa memikirkan efek ke depan dan perawatan dalam jangka panjang, salah satunya pada bendungan Lodan yang ada di Kabupaten Rembang pernah mengalami kegagalan yaitu pada tanggal 20 Nopember 1998 terjadi keruntuhan bangunan pelimpah di bagian kanan tubuh bendungan. Kemudian terjadi kembali retakan memanjang di crest bendungan pada tahun 2010 (Data Teknis Waduk Lodan, 2011). Oleh sebab itu perlu adanya monitoring bendungan secara teratur dengan memperhatikan semua instrumen yang terdapat pada bendungan Lodan (BBWS Pemali-Juana, 2015).

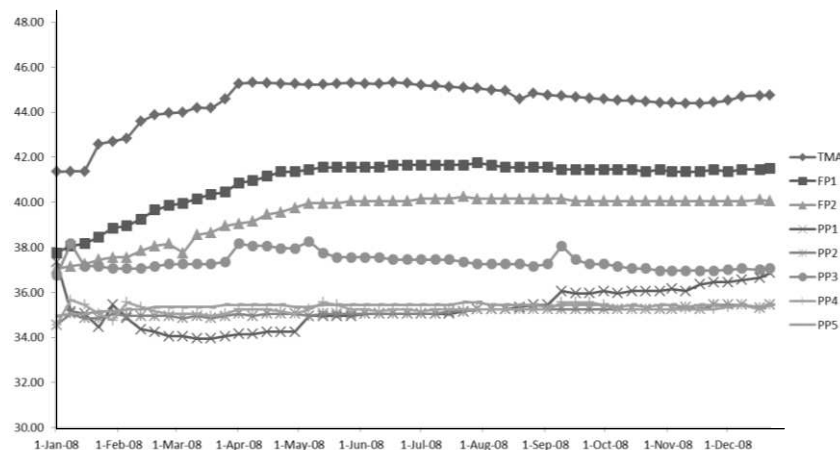
## **MAKSUD DAN TUJUAN**

Analisa instrumentasi geoteknik pada bendungan urugan tanah di Lodan ini mempunyai maksud untuk menganalisa tekanan air pori terhadap waktu dan muka air waduk, menganalisa lintasan rembesan atau *flow line*, menganalisa grafik v-notch weir terhadap muka air waduk, menganalisa deformasi bendungan dan menganalisa stabilitas lereng. Tujuan dari analisa instrumentasi geoteknik pada bendungan urugan tanah di Lodan yaitu untuk mengetahui respon instrument *piezometer*, untuk mengetahui garis freatik memotong bagian hilir atau tidak, untuk mengetahui angka aman rembesan yang terjadi pada bendungan, untuk mengetahui angka penurunan yang terjadi pada tubuh bendungan dan untuk mengetahui angka aman lereng bendungan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Tekanan Air Pori Terhadap Waktu Dan Muka Air Waduk

Instrumen untuk mengamati tekanan air pori pada bendungan Lodan adalah *piezometer*. *Piezometer* yang digunakan adalah tipe *hydraulic piezometer* (HP). Pengamatan tekanan air pori menggunakan prinsip linieritas terhadap tinggi muka air waduk, yang secara langsung mempengaruhi nilai dari pembacaan tekanan. Prinsip linearitas adalah bila tinggi air mengalami perubahan satu satuan maka *piezometer* yang mengukur tekanan air pori akan mengalami perubahan satu satuan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini dikarenakan konsep tekanan memiliki hubungan linear antara unit weight dari air dan juga kedalaman.

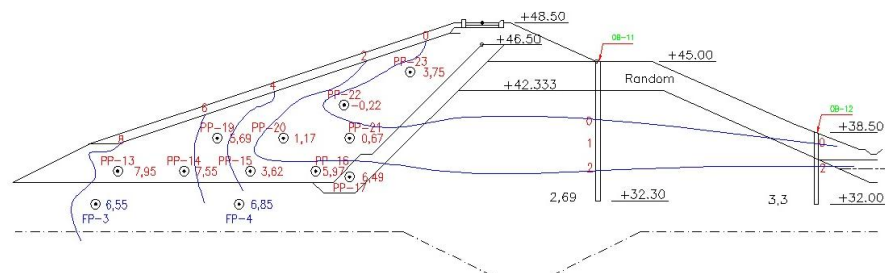


Gambar 1. Pembacaan Piezometer FP 3, FP 4, PP 13, PP 14, PP 15, PP 16 dan Tinggi Muka Air waduk tahun 2008.

Dari pengamatan *piezometer*, terlihat bahwa alat yang merespon perubahan tinggi muka air hanya FP1, FP, FP3, PP6, PP10, PP13 dan PP14 sehingga perlu adanya penanganan lebih lanjut.

### Analisa Lintasan Rembesan (*Seepage Flow*) Atau *Flow Line*

Lintasan rembesan sangat penting untuk mengevaluasi keamanan bendungan urugan tanah (*embankment dam*), untuk mengetahui pola lintasan rembesan. Untuk melakukan pembacaan terhadap tekanan air pori dilakukan pengumpulan data *piezometer* pada bendungan beserta waktu pembacaan *piezometer* dan elevasi *reservoir* saat pembacaan dilakukan. Kemudian melakukan konversi pembacaan ke satuan yang sesuai. Langkah selanjutnya melakukan *ploting* pada potongan *core dam*. Dan yang terakhir interpretasi *flow line*. Contoh analisa *flow line* dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Flow Line section 18 tanggal 13 Januari 2009.

Untuk penggambaran garis freatik masih aman karena garis freatik tidak memotong tubuh bendungan.

### Analisa Grafik V-Notch Weir Terhadap Waktu Dan Muka Air Waduk

Kuantitas rembesan dapat dihitung dengan V-Notch Weir. Kuantitas rembesan yang ditoleransi berkaitan dengan jumlah kuantitas rembesan yang diijinkan dan toleransi keamanan. Pada umumnya batas jumlah rembesan maksimum dikaitkan dengan tinggi bendungan, panjang bendungan utama dan permeability dari *core*. Kuantitas rembesan yang diijinkan pada umumnya ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Penerimaan Rembesan Pada Tubuh Dam (Look, 2007)

Dam Height (m)	Seepage, litres/day/metre, (Litres/minute/metre)	
	O.K.	Not O.K.
<5	<25 (0.02)	>50 (0.003)
5.0-10.0	<50 (0.03)	>100 (0.07)
10.0-20.0	<100 (0.07)	>200 (0.14)
20.0-40.0	<200 (0.14)	>400 (0.28)
>40	<400 (0.28)	>800 (0.56)

Debit rembesan sangat kecil yaitu kurang dari 0,28 lt/mnt/m, sehingga masih dalam batas aman seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Analisis Kuantitas Rembesan Lodan Tiap Satuan Lebar Bendungan.

Tanggal	Tinggi Muka Air Waduk (Tma) (M)	Rembesan	Panjang Bendungan Utama	Rembesan Tiap Meter Bendungan Utama	Nilai Ambang (Look, 2007)	Komentar
11-Feb-08	43.57	w total=0,3208 lt/dt w total=19,248 lt/mnt	179,6 m	19,248 / 179,6 = 0,11 lt/mnt/m	0,28 lt/mnt/m	kurang dari nilai ambang maksimal
19-May-09	45.69	w total=0,2182 lt/dt w total=13,092 lt/mnt	179.6	13,092 / 179,6 =0,07 lt/mnt/m	0,28 lt/mnt/m	kurang dari nilai ambang maksimal
17-Jun-10	46.68	w total=0,6705 lt/dt w total=40,23 lt/mnt	179.6	40,23 / 179,6 =0,22 lt/mnt/m	0,28 lt/mnt/m	kurang dari nilai ambang maksimal
19-May-11	46.53	w total=0,7441 lt/dt w total=44,646 lt/mnt	179.6	4,646 / 179,6 =0,25 lt/mnt/m	0,28 lt/mnt/m	kurang dari nilai ambang maksimal
31-Mar-12	44.63	w total=0,1837 lt/dt w total=11,022 lt/mnt	179.6	11,022 / 179,6 =0,06 lt/mnt/m	0,28 lt/mnt/m	kurang dari nilai ambang rata-rata
22-Jul-13	45.06	w total=0,368 lt/dt	179.6	22,08 / 179,6 =0,12 lt/mnt/m	0,28 lt/mnt/m	kurang dari nilai ambang rata-rata

### Analisa Deformasi Pada Bendungan

Jika lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh dua akibat, yaitu berubahnya susunan tanah dan berkurangnya rongga pori di dalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan diseluruh kedalaman lapisan tanah, merupakan penurunan total tanah. Berikut ini kami sajikan perhitungan penurunan (*settlement*) pada bendungan Lodan Rembang.

Rumus umum (Novak, 2000):

$$SI = \frac{\Delta s}{1000H \log t_2/t_1} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

SI = *Settlement index*

$\Delta s$  = Penurunan puncak dalam milimeter (mm) yang terjadi dalam interval waktu  $t_1$  ke  $t_2$  setelah selesainya tanggul dengan tinggi H meter

H = Tinggi Bendungan

$t_1$  = Waktu dari selesainya bendungan urugan sampai pengamatan penurunan pertama dalam satuan tahun

$t_2$  = Waktu dari selesainya bendungan urugan sampai pengamatan penurunan kedua dalam satuan tahun

Untuk pengamatan deformasi vertical juga masih aman karena nilai  $SI \leq 0,02$  dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Tabel Deformasi Pada Bendungan Lodan Rembang

Stasiun	<div> Nilai Si  <math>\frac{\Delta s}{1000H \log t_2/t_1}</math> </div>	Kriteria Yang Digunakan	Komentar
Ss-1	0,0000015	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-2	0,0000015	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-3	0,0000018	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-4	0,0000021	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-5	0,000003	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-6	0,0000015	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-7	0,0000016	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-8	0,0000025	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-9	0,0000016	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-10	0,0000006	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-11	0	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-12	0,0000016	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-13	0,0000022	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-14	0,0000018	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-15	0,0000025	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-16	0,0000075	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-17	0,00000021	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-18	0,00000095	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-19	0,00000095	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-20	0,0000013	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-21	0,0000015	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-22	0,0000025	$\leq 0,02$	Diterima
Ss-23	0,0000022	$\leq 0,02$	Diterima

### Analisa Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak datar atau mempunyai sudut kemiringan maka akan cenderung menggerakkan massa tanah ke arah permukaan yang lebih rendah. Analisis yang menjelaskan tentang kejadian tersebut dikenal dengan analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng banyak digunakan dalam perencanaan konstruksi, seperti: timbunan untuk jalan raya, galian lereng untuk jalan raya serta konstruksi tubuh bendung. Maksud dari analisis ini adalah menentukan faktor keamanan (*safety factor*) dari bidang potensial longsor. Faktor keamanan minimum stabilitas lereng hasil perhitungan program *Plaxis* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut ini.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Perhitungan Sistem Program Plaxis dengan Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Lereng Section 18

Kondisi	Standar menurut JIS	Standar menurut Davis-Sorensen		Standar menurut US Army Corp. Eng.	Standar menurut CF Sommers	Hasil Perhitungan Plaxis
	Hulu/Hilir	Hulu	Hilir	Hulu/Hilir	Hulu/Hilir	
Waduk Kosong Undrained	1,30	1,25	1,25	1,30	1,50	1,888
Waduk Kosong Drained	1,30	1,25	1,25	1,30	1,50	2,055
Waduk Penuh	1,30	-	1,50	1,50	1,50	2,251
Muka Air Turun Tiba-Tiba	1,30	1,25	-	1,00	1,10	1,728

Tabel 4. Perbandingan Hasil Perhitungan Sistem Program Plaxis dengan Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Lereng Section 23

Kondisi	Standar menurut JIS	Standar menurut Davis-Sorensen		Standar menurut US Army Corp. Eng.	Standar menurut CF Sommers	Hasil Perhitungan Plaxis
	Hulu/Hilir	Hulu	Hilir	Hulu/Hilir	Hulu/Hilir	
Waduk Kosong Undrained	1,30	1,25	1,25	1,30	1,50	1,958
Waduk Kosong Drained	1,30	1,25	1,25	1,30	1,50	2,077
Waduk Penuh	1,30	-	1,50	1,50	1,50	2,467
Muka Air Turun Tiba-Tiba	1,30	1,25	-	1,00	1,10	2,195

Dari hasil perhitungan sistem program Plaxis faktor keamanan yang ditunjukkan pada section 18 dan section 23 memenuhi standar faktor keamanan minimum stabilitas lereng.

### KESIMPULAN

Dari pengamatan *piezometer*, terlihat bahwa alat yang merespon perubahan tinggi muka air hanya FP1, FP, FP3, PP6, PP10, PP13 dan PP14 sehingga perlu adanya penanganan lebih lanjut. Untuk penggambaran garis freatik masih aman karena garis freatik tidak memotong tubuh bendungan. Debit rembesan sangat kecil yaitu kurang dari 0,28 lt/mnt/m, sehingga

masih dalam batas aman. Untuk pengamatan deformasi vertical juga masih aman karena nilai  $SI \leq 0,02$ . Secara umum tingkat keamanan Bendungan Lodan masih ada dalam batas normal. Hanya pada instrumen *piezometer* saja yang perlu penanganan lebih lanjut.

## **SARAN**

Pengamatan baik *piezometer* dan *v-notch weir* hendaknya dilakukan setiap hari sehingga data yang ditampilkan dapat dianalisa dengan baik. Perlu ditinjau kembali *piezometer* PP-12 dan PP-13, karena angka pembacaan yang ditunjukkan oleh *piezometer* tersebut menunjukkan angka yang tidak wajar. Perlu adanya modifikasi pada *v-notch weir* sehingga rembesan yang ditampung tidak tercampur dengan air hujan misalnya dengan menutup bagian atas *v-notch weir*. Perlu dilakukan pengukuran lapangan secara kontinyu untuk mengetahui penurunan yang terjadi pada tubuh bendungan, karena pengukuran terakhir yang dilakukan adalah satu tahun setelah bendungan urugan tanah selesai yaitu tahun 2008.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- A.B. Chance, 2005. *Helical Screw Foundation System Design Manual for New Construction*, Hubbel. Bulletin 01-0502, USA.
- Budhu, Muni, 2000. *Soil Mechanics And Foundations*, John Wiley and Sons, New York.
- Goldin, A.L. and Rasskazov, L.N., 1992. *Design of Earh Dams*. A.A. Balkema, Rotterrdam.
- Look, Burt G., 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor and francis group, London.
- Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. & Narayan, P., 2001. *Hydraulic Structures*. Spoon Press.
- Soedibyo, 1993. *Teknik Bendungan*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wesley, L.D., 1997. *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum.